

УДК 621.717.112.6

Н.С. Григор'єва

МОДУЛЬНІ АВТОМАТИЗОВАНІ ГНУЧКІ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Присвячена науковим дослідженням нового напрямку в технології машинобудування - модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва, підвищення його ефективності шляхом розробки ітераційно-рекурентних методів проектування модульної складальної технології. Розроблені типові структури модульних складальних систем,

Ключові слова: модуль, складання, структура, система.

Форм. 1. Рис. 3. Літ. 3.

Н.С. Григорьева

МОДУЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ГИБКИЕ СИСТЕМЫ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Посвящена научным исследованиям нового направления модульного автоматизированного гибкого сборочного производства при повышении эффективности путем разработки итерационно-рекуррентных методов проектирования модульной сборочной технологии. Разработаны структуры гибких модульных сборочных систем,

Ключевые слова: модуль, сборка, структура, система.

N. Grigorieva

MODULAR FLEXIBLE AUTOMATED ASSEMBLY SYSTEM OF PRODUCTS

The dissertation dedicate with the development of scientific foundations for automatically modular technologies of the flexible assembling production. Developed are also typical structures of the module systems,

Keywords: module, block, assembly, the structure of the system.

Постановка проблеми. Сучасному складальному виробництву по всім показникам найбільш відповідають модульні автоматизовані гнучкі складальні системи, які вважаються реальним напрямком переходу до загального автоматизованого виробництва майбутнього *CIM*. Значним гальмом в їх розвитку та впровадженні у виробництво вважається значна номенклатура виробів. До того часу поки вироби не стануть уніфікованими і конструкційно-модульними, орієнтованими саме на модульне автоматизоване гнучке складання, не появиться добре відпрацьоване надійне технологічне переналагоджуване обладнання та оснащення, очікувати перших позитивних результатів виробничого впровадження модульних складальних систем не приходиться [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше концепція гнучких технологічних складальних систем була представлена в 1983 р. на конгресі в *Ганновері* та IV міжнародній конференції в *Токіо*, а її передумовами були вимоги ринку, господарча політика, правові норми і інше. Технологічними проблемами гнучких технологічних систем є номенклатура виробів, що складатимуться на переналагоджуваному обладнанні, використовувані структури систем, їх якість та ефективність. Тут рішення лежать на компромісі гнучкості та продуктивності. Недостатньо опрацьовані проблеми структуризації як різнотипних деталей, так і модульних складальних процесів. Надзвичайно мало інформації стосовно проектування модульних складальних систем, яке часто виконується інтуїтивним шляхом і не є оптимальним.

Невирішеними раніше частинами загальної проблеми можна вважати питання структур модульного складання виробів, *підвищення їх ефективності шляхом розробки ітераційно-рекурент-них методів проектування модульної складальної технології.*

Метою дослідження є підвищення ефективності складального виробництва при використанні модульного складання виробів, розробленого на базі його науково-технологічних основ шляхом розробки оптимальних типових структур систем.

Основні результати дослідження. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в роботі вперше реалізовано новий напрямок в технології машинобудування – модульного складання виробів на основі модульних процесів складання та модульного технологічного обладнання з оснащенням, що формуються з взаємозв'язаних технологічних і конструкційних модулів. Одержані нові наукові результати, для цього вперше:

- на підставі виявлених закономірностей, діючих функціональних зв'язків, встановлено зміст і структури типових систем і підсистем модульного складання виробів, що обумовлюються функціональними особливостями процесу та стану складаних деталей, з'єднань, виробів і описуються графом і матрицями

– розроблено технологію управління модульного складання виробів, сутність якої зводиться до певних операцій та процедур над керованими об'єктами і представляється у вигляді інформаційної та організаційної взаємодії трьох головних процесів: інформаційного, логічно-розумового та організаційного, котрі здійснюються на окремих модулях, що описується графами і матрицями.

В загальному випадку під модульною гнучкою автоматизованою складальною системою розуміється сукупність взаємопов'язаних елементів частин або модулів, що творять єдине ціле, котрі діють певним порядком для здійснення автоматизованого складання різновидів виробів. Між частинами системи встановлюються певні зв'язки зі своїми властивостями, що є проявом її цілісності. Крім принципу цілісності при структуризації повинні застосовуватися і принципи кібернетики: необхідного різноманіття емерджентності, зовнішнього доповнення, зворотного зв'язку та вибору рішень. За першим принципом найбільш ефективною вважається гнучка система, в якій число різноманітних елементів, модулів і їх станів обмежено як по максимуму, так і по мінімуму. Другий принцип обмежує розміри модульної системи та різницю в розмірах між частиною та цілим для зменшення ймовірності різниці властивостей цілого від властивостей частин. Наступний принцип зворотного зв'язку без наявності взаємозв'язку між окремими частинами немає підстави для ефективного управління в модульній системі. В складальній модульній системі повинна забезпечуватись технологічна замкнутість. І, на кінець, останній принцип передбачує альтернативний вибір рішення, як мінімум з трьох варіантів. Всі ці принципи творять замкнутий контур, який забезпечує найбільшу ефективність функціонування модульної складальної системи.

Висока якість модульного складання повинна досягатися за рахунок нового підходу в його формуванні, а саме, прямих і зворотних зв'язків в ланцюжку: конструкція → технологія → експлуатація з використанням на початку віртуального аналізу та синтезу отримуваних результатів. Поставлена мета може бути досягнута через конкурентоспроможність можливих елементів складальної системи, вибору раціональних, їх детальне доопрацювання та наступна уніфікація з постановкою на їх серійний випуск. Повинен бути зведеним до мінімуму негативний вплив переналадження підсистем на всі показники якості складаних різновидів виробів. На перше місце висуваються межі переналадження, котрі повинні бути оптимальними, техніко-економічно обґрунтованими і залежними від об'єктів модульного складання та технологічних можливостей переналаджуваного обладнання та оснащення.

Застосування модульного принципу в гнучкому автоматизованому складанні забезпечує вирішення цілої низки проблем, яке раніше досягалось обхідними шляхами [2, 3]. Складані вироби, технологія їх модульного складання, переналаджуване обладнання та оснащення, управління однозначно мають складатися з окремих конструкційних і технологічних взаємозамінних модулів, тобто об'єкти складального виробництва заміщуються множиною модулів. А це вже суттєво новий і не розроблений підхід при складанні, що вимагає сучасних методів такого заміщення, побудови модулів, їх уніфікації та оцінки техніко-економічної ефективності на основі не випадкового інтуїтивного підходу, а системного. При цьому треба буде переосмислити і використати досвід застосування модульного принципу при механічній обробці деталей. Від застосування цього принципу в модульних складальних системах можна очікувати значно кращих результатів, які є кращими, ніж при використанні інших відомих підходів.

Системний підхід до проектування таких систем на відміну від традиційного полягає на ітераційно-рекурентному шляху розвитку, котрий передбачає як загальносистемні дослідження та розробки, так і дослідження окремих елементів, які коректуються з метою оптимізації опрацювань в цілому. Інтеграція матеріальних, енергетичних, теплових, організаційних та інформаційних потоків в модульних складальних системах має на меті подальше підвищення їх ефективності. Системний підхід дозволяє провести аналіз повної структури системи, а її формалізований опис забезпечує застосування сучасних інформаційних технологій для комплексних конструкційно-технологічних рішень. Оптимізація таких потоків збільшує продуктивність модульного складання та значно скорочує всі види витрат, тобто зменшує технологічну собівартість виробу [3]. По своїй суті модульне автоматизоване складання базується на „безлюдному” чи „малолюдному” режимі, оскільки більшість функцій виконується автоматично, але при цьому питання ускладнюється так званою «супроводжуючою» командою наладчиків, ремонтників, експлуатаційників, тощо, яка є досить значною.

Структура модульних гнучких складальних систем розробляється з використанням системного підходу, принципу комплексності, яким передують загальносистемні дослідження та розробки в тому числі і на рівні елементарних складальних гнучких технологій, а також

системного моделювання. Встановлення раціональної структури модульних гнучких складальних систем вважається одним з найскладніших завдань [1, 2]. Узasadнюється це тим, що для встановлення такої структури доводиться попередньо розраховувати й аналізувати цілі множини технічних і економічних показників, ряд з яких є похідними і появляються тільки в процесі розрахунків. Головним при цьому є забезпечення високої якості складаних різновидів виробів, стабільності та надійності модульної системи при мінімальних витратах і високій продуктивності.

Типова структура модульної складальної системи, побудована на підставі теорії структур, наведена на рис. 1., яка складається з ряду складальних підсистем, котрі замикають цикл функцій модульного складання виробів. Початком системи є підсистема вхідного контролю різнотипних деталей, що поступають на автоматизоване складання. Наступною є підсистема визначення займаного положення деталей (загальний випадок). Якщо на модульне автоматизоване складання подаються орієнтовані деталі в заданому положенні, то така підсистема також стає непотрібною. Це ж відноситься і до наступної підсистеми автоматичного просторового

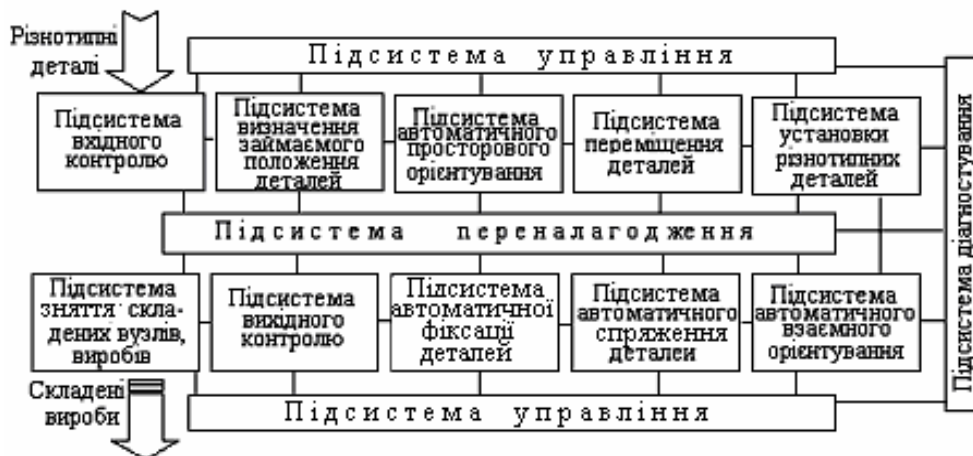


Рис. 1. Узагальнена типова схема структури модульної гнучкої системи на рівні підсистем [авторська розробка]

орієнтування деталей. В підсистемі переміщення зорієнтованих різнотипних деталей на робочі позиції наступна підсистема здійснює їх автоматичну установку. Підсистема автоматичного взаємного гнучкого орієнтування забезпечує потрібне просторове положення складаних різнотипних деталей для їх модульного складання, а підсистеми автоматичного спраження та закріплення – модульне складання з'єднань. Підсистема вихідного контролю перевіряє якість складання, після чого зняття складаних вузлів або виробів здійснюється підсистемою їх вивантаження. Ця ж підсистема усуває і браковані деталі. В модульній складальній системі задіяна підсистема діагностування функціонування вказаних підсистем. Кожна з підсистем споряджена відповідними датчиками і зворотнім зв'язком.

Всі підсистеми управляються єдиною підсистемою управління адаптивного чи інтелектуального плану, що має можливість пристосування до змін умов модульного складання та управління такими змінами. Гнучкість системи автоматизованого модульного складання забезпечується підсистемою переналагодження, котра може бути виконана як централізованою, так і розміщеною в кожній гнучкій підсистемі в вигляді окремих модулів. Перший випадок є характерним при універсалізації підсистем, коли їм для переналагодження необхідні відповідні команди при постійному використанні елементів контакту зі складаними деталями. Тоді така підсистема може бути частиною підсистеми управління цілою модульною гнучкою складальною системою. Другий випадок притаманний при необхідності регулювання чи заміни елементів контакту зі складаними деталями, такими як точки базування, схоплювання, прикладення сили, тощо. Тобто цей випадок є більш загальним.

На рис. 2. наведена типова структура модульної гнучкої автоматизованої складальної системи при подачі складаних деталей в орієнтованому положенні. Як видно, така система є простішою, а значить більш надійною та ефективною, ніж наведена вище, коли складані деталі попадають неорієнтованими. Тому навіть можна відмітити доцільність попереднього орієнтування складаних деталей поза системою і подачу їх в орієнтованому положенні, наприклад, на палетах [3].

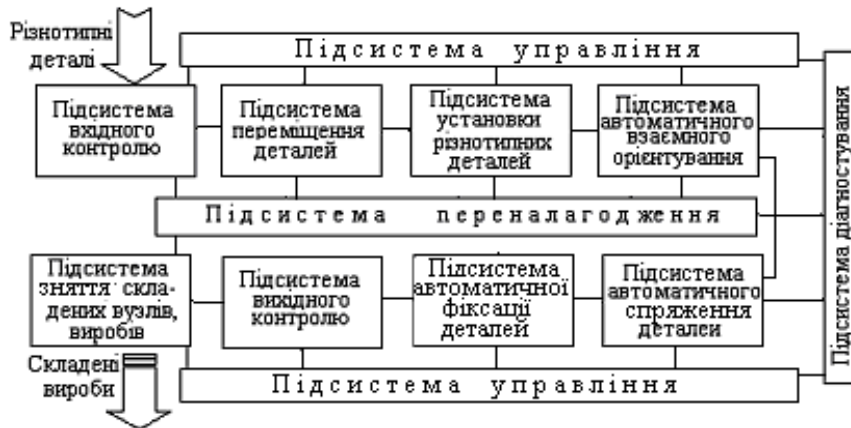


Рис. 2. Узагальнена типова схема структури модульної гнучкої системи при подачі деталей в орієнтованому положенні [авторська розробка]

Кожна з вказаних підсистем з метою спрощення системи модульного складання може бути поєднаною з іншими, утворюючи комплексні підсистеми. Єдиною вимогою такого об'єднання є те, що комплексна підсистема має бути простішою, а значить і надійнішою, ніж об'єднані. Так, визначення займаного положення та автоматичного просторового орієнтування різнотипних деталей може виконуватися під час їх переміщення на позицію автоматизованого складання, тобто може бути створена комплексна підсистема, в котрій виконуються вказані функції. Подібно твориться комплексна підсистема автоматизованого взаємного гнучкого орієнтування та складання різнотипних деталей. Підсистема діагностування порівняно просто об'єднується з підсистемою управління, а підсистеми вхідного та вихідного контролю в одну підсистему контролю. Типова структура модульної гнучкої складальної системи з комплексними підсистемами наведена на рис. 3.

Усі вказані підсистеми складаються з автономних модулів зі своїми типорозмірними рядами. Такий підхід дозволяє порівняно просто на базі типової структури модульного складання одержувати найбільш ефективні структури для конкретних ситуацій. При такому підході система має широкі технологічні можливості, що дозволяють на робочій позиції концентрувати різні

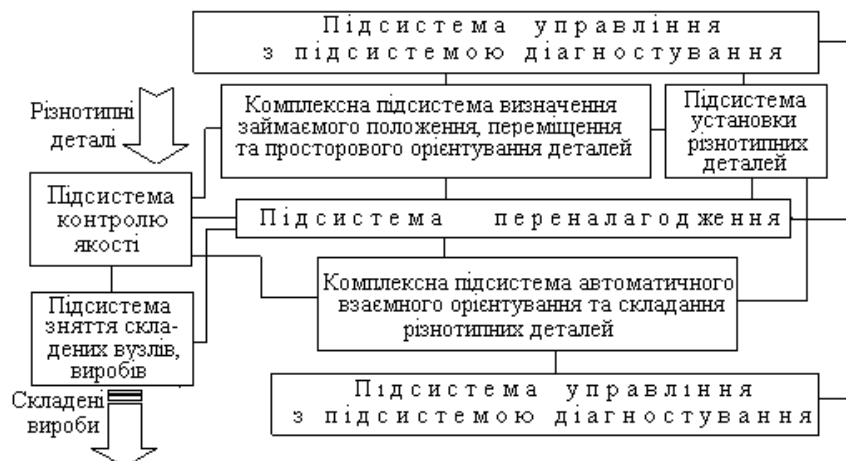


Рис. 3. Узагальнена типова схема структури модульної гнучкої системи з об'єднаними комплексними підсистемами

функції модульного складання. Ці технологічні можливості розширюються як за рахунок застосування палет, роботів, тощо, так і одночасного використання різновидів складального та комбінованого інструменту.

Взаємозв'язки в технологічних системах відносяться до найважливіших наукових інструментів, за допомогою яких забезпечується глибоке пізнання суті процесів, що відбуваються

[2], в тому числі і модульного складання. З метою забезпечення високих технічних показників модульного складання виявлені та проаналізовані всі види взаємозв'язків, що виникають в просторі та часі, котрі в кінцевому рахунку визначають стабільність гнучких технологічних процесів складання та якість складаних виробів. Такі зв'язки мають важливу конструктивну роль як в початковому розчленуванні процесу модульного складання, так і при відтворенні його в цілісній теоретичній моделі. При такому аналізі також застосовується системний підхід.

При модульному складанні деталей стосуються відомі правила перетворення структурних схем [1, 2], що дозволяють значне їх спрощення за рахунок віддалення від реальної схеми, її абстрагування та наступному синтезі. При модульному складанні найчастіше може використовуватися послідовне з'єднання елементів (послідовно з'єднанні елементи з передатними функціями можуть бути замінені одним елементом з результативною функцією), паралельне з'єднання (це ж саме, але з результативною паралельною передатною функцією), зустрічно-паралельне з'єднання (при наявності зворотних зв'язків). При послідовному з'єднанні передатна функція представляється добутком складових функцій з'єднуваних елементів, паралельному – сумою, змішаному – добутком і сумою за схемами з'єднання. За цими правилами можна трансформувати будь-яку схему в бажаному напрямку. Прикладами такої трансформації є суміщення підсистем модульного гнучкого складання. Може бути використане також перенесення порівняльного блоку за напрямком або проти ходу сигналу, при цьому змінюється вираз передатної функції.

Системи модульного складання виробів, що враховують функціональні зв'язки, можуть бути представлені комплексними орієнтованими кінцевими графами, які композиційно складаються з більш простих, що відповідатимуть виділеним підсистемам і описані матрицею суміжності [1]

$$M_{скл} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1,13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2,13} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{13,1} & x_{13,2} & x_{13,3} & \dots & x_{13,13} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де x_{ij} – вершини орграфа. Для орграфа матриця суміжності в загальному випадку несиметрична, а неорієнтованого – симетрична. При цьому, елементи матриці рівні 0 чи 1, а елементи діагоналі – нульові.

Завдання управління при модульному складанні виробів полягає в забезпеченні автоматизованого виконання запрограмованої послідовності складальних рухів з врахуванням особливостей конструкції складаних виробів, їх деталей, схем складання, особливостей переналагодження, технологічних можливостей обладнання та оснащення та ряду інших обмежень. Функція управління ускладнюється за рахунок неоднорідності, складності та дискретності матеріальних і інших потоків модульного складання, синхронізації циркулюючих потоків, можливості порушення ритмічності гнучких складальних процесів і накопичення різнотипних деталей. Управління модульним складанням має ієрархічну структуру для переналагоджування обладнання, оснащення, оперативної диспетчеризації матеріальних потоків і планування модульних процесів складання виробів.

Концепція управління модульного складання виробів передбачає використання таких етапів: виявлення можливостей модульної технології, її адаптації до навколишнього середовища, перенесення модульної технології та її інтеграція, підтримка модульної технології. Якщо на першому етапі виявляються досягнення та тенденції модульної складальної технології з метою вибору найкоротшого шляху реалізації мети, то на другому – розробка загальних питань розвитку модульної технології, третьому – її детальна розробка, а на четвертому – підтримка впровадження модульної технології. Перший етап забезпечується вивченням стану досягнень, тенденцій розвитку модульного складання виробів, її оцінки, підбору виконавців, визначення початкових пунктів рішення поставленого завдання. Другий етап забезпечується підготовкою умов складання виробів модульною технологією, погодженнями між модульною технологією, виробами, клієнтами, ринком і попитом. Умовою успішності третього етапу є встановлення чітких взаємозв'язків між вимогами і об'єктами розробки технології. І, на кінець, четвертий етап забезпечується гарантією, що модульна складальна технологія погоджена з її виробничим впровадженням.

Важливим при управлінні модульною складальною технологією є правильне виділення об'єктів і побудова структури управління технологією. Структуру системи управління модульною технологією творить множина об'єктів, які розділяються на постійні, що не змінюються під час управління та змінні, що виникають під час управління. До постійних об'єктів відносяться конструкційні елементи виробів, таких як деталі, вузли, комплектуючі, кількість випуску і т.п., які визначають порядок модульного складання. Їх конструкція може дещо змінюватися за рахунок відпрацювання на технологічність за вимогами модульного складання. Така зміна їх форми чи властивостей постійних об'єктів є незначною. До таких об'єктів також відноситься задана кількість і потрібна якість складаних виробів. Під час управління модульним складанням виникають нові об'єкти, наприклад, технологічні та конструкційні модулі, процеси і інші. У залежності від того чи є на підприємстві модульна технологія, такі модулі можуть бути як постійними (модулі багаторазового вжитку), так і змінними, коли модульна технологія відсутня і вони творяться під час управління модульною складальною технологією. Подібна ситуація і з технологічним обладнанням і оснащенням, допоміжним обладнанням, тощо. Змінними можна вважати робочі місця, складальні дільниці чи лінії. Об'єктами структури є також оператор або програмне управління. В залежності від характеру виробів структура може видозмінюватися, тому краще виділяти типові структури для спорідненої множини виробів і особливостей їх модульного складання.

Таким чином, сутність управління модульними технологіями зводиться до певних операцій та процедур над об'єктами структури з метою одержання ефективного складання різновидів виробів. В загальному випадку побудова таких систем управління близька до відомих задач розробки адаптивного термінального управління та стабілізації запрограмованих складальних рухів [2, 3].

Висновки. На основі виконаних наукових розробок модульних автоматизованих гнучких систем складання різновидів виробів можна зробити наступні висновки:

1. Реалізація нової концепції в модульних гнучких автоматизованих системах складання виробів передбачає виділення за функціонально-модульними ознаками окремих типових автономних підсистем, які задовольняють основним вимогам модульного складання виробів з перспективою формування на їх основі модулів різновидів виробів, забезпечуючи тісний взаємозв'язок між конструкціями виробів, модульного переналагоджуваного обладнання та оснащення та технологією складання з повним використанням можливостей технології та відповідній конструкції.

2. Типова структура модульних автоматизованих гнучких складальних систем передбачає її побудову з ряду елементарних підсистем, таких як: діагностування та управління модульним складанням, переналагодження, вхідного контролю, визначення займаного положення складаних деталей, просторового автоматичного орієнтування деталей, їх переміщення, установки, автоматичного взаємного орієнтування деталей, спряження та закріплення, вихідного контролю, вивантаження складених вузлів, виробів. Підсистеми, в залежності від конкретних умов модульного складання виробів, можуть входити в модульну складальну систему в повному обсязі, частковому, бути суміщеними, складатися зі змінних або постійних модулів.

3. Виявлені взаємозв'язки в системах модульного складання виробів при застосуванні системного підходу представлені комплексним кінцевим оргграфом, який композиційно складається з більш простих, що відповідають виділеним підсистемам і модулям, описані відповідними матрицями. Встановлені закономірності дозволили сформуванню ціленаправлений підхід від потрібних вимог щодо складаних деталей, функцій модульного складання, до структури модульної складальної системи, принципової схеми, компоновки та структури модульного переналагоджуваного складального обладнання та оснащення.

4. Технологія управління модульного складання виробів зводиться до виконання операцій та процедур над об'єктами структур управління і складається з інформаційного модуля, модуля загального управління технологією та модуля виробничого впровадження модульної технології. Структура системи управління модульного складання виробів описується графом і матрицею взаємозв'язків між виробом, технологічним обладнанням і складальною дільницею чи лінією.

Перспективами подальших розвідок даного напрямку можна вважати: подальше дослідження систем модульного автоматизованого гнучкого складання виробів, методик одержання оптимальних рішень і переходу на формування типових структур конструкцій модульного складання виробів.

1. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: [монографія] / Наталія Сергіївна Григор'єва. – Луцьк: Надстир'я, - 2008. –520 с.
2. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия / А.Н. Михайлов – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.
3. Технология автоматической сборки / [А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль, А.С. Зенкин и др.]; под ред. А.Г. Холодковой. – М.: Машиностроение, 2010. – 560 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2013.